

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Antić

Zagreb, 2014. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Mladen Crneković, dipl. ing.

Student:

Ivan Antić

Zagreb, 2014. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Mladen Crneković, dipl. ing. na stručnom vodstvu i srdačnoj ustrajnosti. Domagoju Antiću – bratu i kolegi, kolegama i prijateljima Hrvoju Macuri, Boži Poljaku i Milanu Markoviću. Veliko hvala djevojci Miji na podršci i vjeri u mene tijekom izrade završnog rada. Hvala dragom Bogu za uslišane molitve onih koji su me Njemu prikazivali.

Hvala svima Vama, Bog vas blagoslovio!

Ivan Antić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, broдостројарски i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

Zadatak zdao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
POPIS SLIKA	2
POPIS TABLICA.....	3
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	4
SAŽETAK.....	5
SUMMARY	6
1. UVOD.....	7
2. POSTUPAK KALJENJA ČELIKA	8
2.1. Faze odvođenja topline u postupku kaljenja	9
3. KOMPONENTE REGULACIJE.....	11
3.1. Istosmjerni motor	11
3.2. Mikrokontroler ATMEL	12
3.3. H-most.....	13
3.4. Komunikacijska veza RS232	14
3.4.1. RS-232 konektor	14
3.4.2. UART.....	14
3.5. Zaslون LCD	15
3.6. Napajanje – FIAMM	16
4. ELEKTRIČNA SHEMA	17
4.1. Električna shema na tiskanoj pločici.....	18
4.2. Popis elektroničkih komponenti s cjenikom	19
5. SINTAKSA PI- REGULATORA U PROGRAMSKOM JEZIKU C-u.....	21
6. ZAKLJUČAK.....	25
LITERATURA.....	26
PRILOZI.....	27

POPIS SLIKA

Slika 1.1	Bazen za ispitivanje parametara gašenjem	7
Slika 2.1	Osnovni dijagram postupka kaljenja	8
Slika 2.2	Faze odvođenja topline pri kaljenju	9
Slika 2.3	Položaj propelera za prisilno hlađenje.....	10
Slika 3.1	Elektromotor s enkoderom	11
Slika 3.2	Blokovski prikaz regulacije	12
Slika 3.3	Laboratorijski spoj komponenti regulacije.....	12
Slika 3.4	Funkcijski blok dijagram LMD18200	13
Slika 3.5	Električna shema spoja LMD18200 s motorom i enkoderom.....	13
Slika 3.6	Priključak serijske komunikacije na pločicu	14
Slika 3.7	Ispis veličina na LCD zaslon.....	15
Slika 3.8	Adapter za napajanje	16
Slika 3.9	DC konektor	16
Slika 4.1	Električna shema	17
Slika 4.2	Tiskana pločica u Altium Designer-u.....	18
Slika 5.1	Prozor FLIP komunikacijskog programa	24

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Priključci elektromotora i enkodera	11
Tablica 4.1 Popis komponenti za tiskanu pločicu	19

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1000-0100-0001	Nosač motora
1010-1000-1001	Poklopac kućišta
1010-1000-1010	Kućište

SAŽETAK

Gašenje je veoma važan toplinski proces u svrhu dobivanja boljih mehaničkih svojstava čelika. U postupku kaljenja čelika nastojimo postići što ravnomjerniju tvrdoću po presjeku predmeta. Postupak gašenja u toplinskoj obradi je definiran normom ASTM D 6482-06. Za pouzdano izvođenje postupka gašenjem (hlađenje) potrebno je regulirati brzinu vrtnje elektromotora. U ovom radu je opisana regulacija brzine vrtnje istosmjernog motora. Opisane su komponente koje sačinjavaju krug regulacije. Regulacija se vrši kodom PI-regulatora u programskom jeziku C-u, te se ispisuju vrijednosti na LCD zaslon za promatranje procesa regulacije brzine vrtnje.

Ključne riječi: postupak gašenja; kaljenje čelika; istosmjerni motor; enkoder; regulacija brzine vrtnje; PI-regulator; programski jezik C

SUMMARY

Quenching is very important thermal process in order to obtain better mechanical properties of steel. In the process of tempering steel strives for uniform hardness over the cross section of items. Quenching procedures in the heat treatment is defined by ASTM D 6482-06. To reliably perform the procedure of quenching (cooling) it is necessary to regulate the speed of the electric motor. In this work the speed control of DC motors is described. The components that make up the control circuit are described. Regulation is made by code of PI controller in the programming language C, and values are writed on the LCD screen that monitors the process of the speed control.

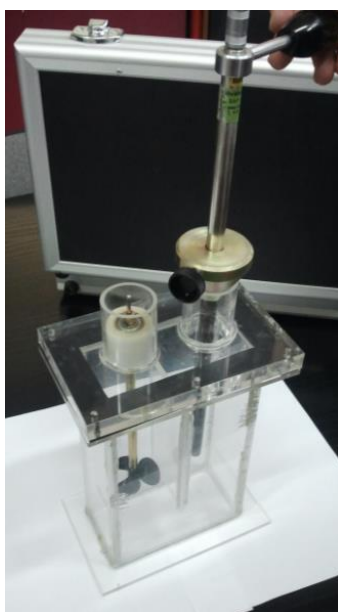
Keywords: quenching process; tempering steel; DC motor; encoder; speed control; PI controller; the programming language C

1. UVOD

Kaljenje je postupak toplinske obrade koji se sastoji od ugrijavanja predmeta na odgovarajuću temperaturu austenitizacije, njegovog držanja na toj temperaturi te naglog ohlađivanja pri čemu nastaje martenzitna mikrostruktura. Svrha kaljenja čelika je postizanje najveće moguće tvrdoće na površini obratka i što jednoličnijeg rasporeda tvrdoće po presjeku. Uz postizanje odgovarajuće tvrdoće, u postupku kaljenja mijenjaju se i druga mehanička svojstva, kao i tribološka, korozijska i fizikalna svojstva čelika. Kaljenje se sastoji od faza austenitizacije i gašenja.

Parametri austenitizacije čeličnog obratka ovise o njegovom kemijskom sastavu, karakteristikama peći, obliku i dimenzijama obratka te načinu slaganja obratka u šaržu. Parametri gašenja čeličnog obratka također ovise o kemijskom sastavu, dimenzijama i obliku obratka, vrsti sredstva za gašenje i karakteristikama uređaja za gašenje. Na kemijski sastav obratka prilikom gašenja ne može se utjecati, stoga za regulaciju procesa gašenja potrebno je odgovarajuće sredstvo za gašenje te zadavanje odgovarajućih parametara na uređaju za gašenje, kao što su na primjer temperatura i brzina strujanja sredstva za gašenje.

Cilj ovoga završnog rada je definirati, konstruirati i izraditi regulacijski sustav koji ima za zadatak upravljati elektromotorom. Za analizu utjecajnih parametara na proces gašenja čelika prati se proces kaljenja prema normi ASTM D 6482-06. Ova norma definira parametre gašenja, te u njoj stoji da rotiranje propelera mora biti na broju okretaja od 1000 °/min. Ova odredba je važna kako bi se u sklopu daljnjeg promatranja i uspoređivanja rezultata pojedinog fluida za gašenje mogle vršiti studije o uporabi najboljeg medija za gašenje.

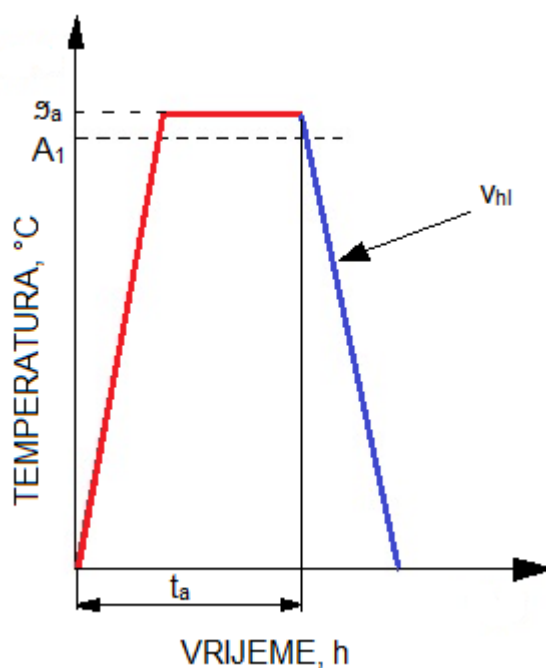


Slika 1.1

Bazen za ispitivanje parametara gašenjem

2. POSTUPAK KALJENJA ČELIKA

Kaljenje je jedna od najzastupljenijih postupaka toplinske obrade metala. Sastoji se od ugrijavanja metala na određenu temperaturu austenitizacije (iznad temperature A_3 ili A_1), držanja na toj temperaturi zbog postizanja jednake temperature na površini i u jezgri obratka, te gašenja. Postupak je prikazan na slici ispod, gdje je crvenom linijom označen postupak ugrijavanja i držanja, a plavom linijom postupak gašenja.



Slika 2.1 Osnovni dijagram postupka kaljenja

ϑ_a – temperatura austenizacije

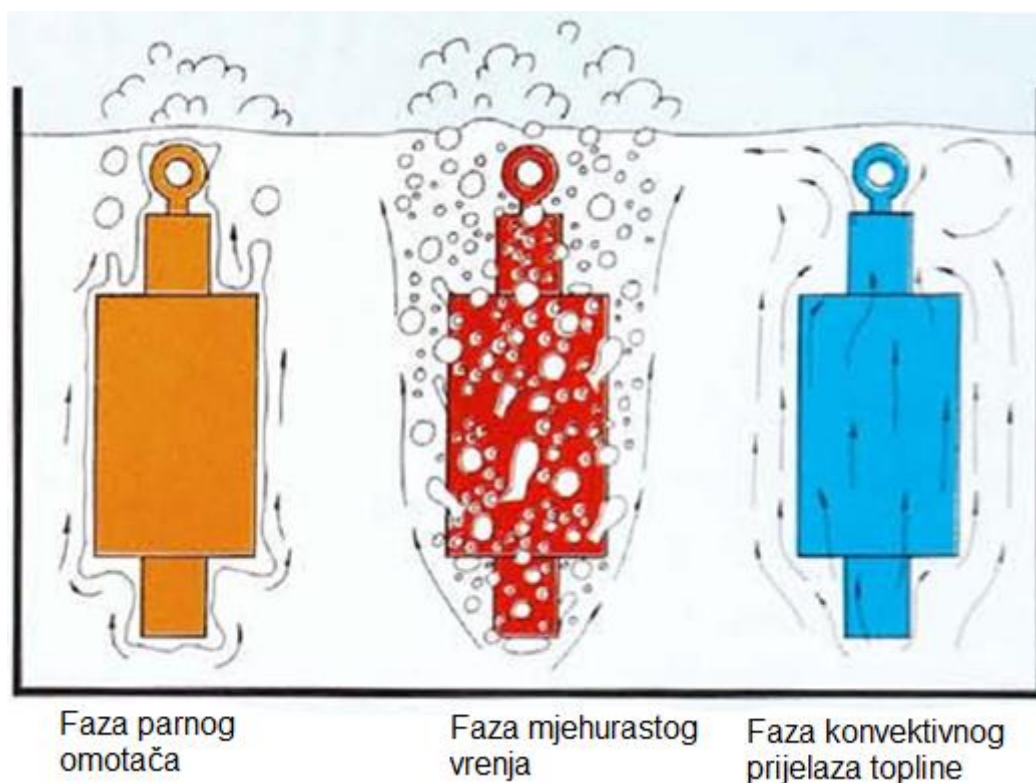
t_a – vrijeme austenizacije

v_{hl} – brzina hlađenja

Gašenje je samo dio postupka kaljenja i cilj ovoga završnog rada je ostvariti potrebne uvjete gašenja, ovaj rad se naslanja na opisani postupak kaljenja u diplomskom radu gospodina Gorana Kukmanovića koji je obradio parametre gašenja, te kako je moguće na njih utjecati izborom sredstva za gašenje te zadavanjem odgovarajućih radnih parametara na uređaju za gašenje.

2.1. Faze odvođenja topline u postupku kaljenja

Svako sredstvo kojem je temperatura isparivanja niža od temperature obratka koji će se u tom sredstvu gasiti prolazi kroz tri faze (tzv. Leidenfrostove faze). U prvoj fazi se stvara omotač od pare i to neposredno nakon uranjanja obratka u sredstvo za gašenje. Ovu fazu karakterizira slabo odvođenje temperature sa obratka, zato što omotač predstavlja toplinski izolator. Vrijeme trajanja prve faze najviše ovisi o sastavu sredstva za gašenje. Vrlo je bitno da je vrijeme trajanja ove faze što kraće kako bi se spriječilo stvaranje neželjene mikrostrukture i omogućilo jednoliko odvođenje temperature po cijeloj površini obratka te se na taj način smanjilo toplinsko naprezanje i eventualne deformacije. Nakon što parni omotač postane nestabilan, počinje faza mjehurastog vrenja s najvećim koeficijentom prijelaza topline. Nakon smanjenja gustoće toplinskog toka ispod određene vrijednosti potrebne za stvaranje mjehurića pare, daljnje hlađenje obavlja se mehanizmom konvekcije. U fazi konvekcije brzina odvođenja topline može se povećati odgovarajućim nastrujavanjem sredstva za gašenje. Visoka gustoća odvedenog toplinskog toka u fazi konvekcije bitna je kad se teži postizanju što veće tvrdoće po poprečnom presjeku obratka. Slika 2.2 prikazuje opisane faze odvođenja topline tijekom kaljenja u kapljevitim sredstvima (s tzv. Leidenfrostovim fenomenom).



Slika 2.2 Faze odvođenja topline pri kaljenju

Stoga je za ovaj postupak gašenja potrebno osigurati kontinuirano strujanje fluida za hlađenje ispitnog uzorka. Kako u samom ispitivanju imamo više sredstava za gašenje čiji se rezultati međusobno uspoređuju, fluide karakterizira različita viskoznost. Potrebno je učiniti

samopodesivi sustav regulacije održavajući konstantnim strujanje fluida za postupak gašenja. Dosadašnja izvedba postupka za gašenje je opisan slijedećim tekstom iz diplomskog rada:

„Strujanje sredstva za gašenje ostvaruje se upotrebom propelera pokretanog elektromotorom. Propeler treba biti promjera 50 mm i nagib lopatice propelera treba iznositi 42°. Prema normi, brzina okretaja propelera iznosi 1000 okretaja u minuti. Upravljanje broja okretaja elektromotora vrši se pomoću regulatora broja okretaja, a kalibracija se može izvesti pomoću tahometra. Nakon što se na tahometru očita zahtjevani broj okretaja, odnosno 1000 okretaja u minuti u ovom slučaju, zabilježi se u kojoj poziciji se nalazi ručica regulatora broja okretaja tako da za svako slijedeće korištenje tog sredstva za gašenje kalibracija nije potrebna. S obzirom da različita sredstva za gašenje imaju različitu gustoću potrebno je izvršiti kalibraciju za svako novo sredstvo za gašenje koje se koristi, jer s porastom gustoće sredstva smanjuje se broj okretaja motora i za istu poziciju ručice regulatora dobivaju se različite brzine strujanja sredstva za gašenje.“

Ovakav način podešavanja brzine okretaja je bio primjenjivan do sada. Ovaj postupak je uvelike neprecizan i nepouzdan. Stoga je potrebno ostvariti regulaciju brzine vrtnje koristeći senzor za mjerenje brzine vrtnje te na taj način sustav učiniti samostalno podesivim na propisanu brzinu okretaja prema normi od 1000 °/min.

U zahtjevu za izradu regulatora kojim se podešava željena brzina zatraženo je da se u ovome radu učini mogući raspon podešavanja brzine vrtnje od 500 °/min do 1500 °/min.

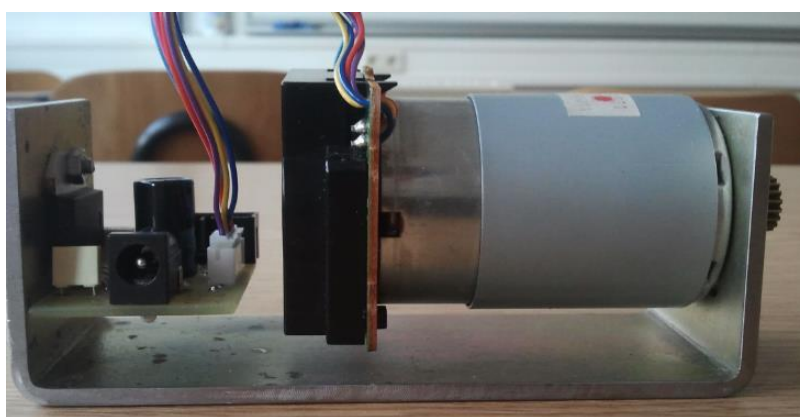


Slika 2.3 Položaj propelera za prisilno hlađenje

3. KOMPONENTE REGULACIJE

3.1. Istosmjerni motor

Za rješenje problema regulacije brzine vrtnje odabran je istosmjerni motor s pisača *HPLaserJet 2500* koji ima oznaku RH7-1531. Ovaj motor zamjenjuje postojeći motor oznake JINDING, JD650-18V. Motor RH7-1531 na sebi ima enkoder koji omogućava povratnu informaciju, povratnu vezu, koja je važna u sustavu regulacije. Enkoder ima podjelu jednog punog kruga sa kutom od $1,8^\circ$ tj. 200 podjela po jednom krugu.



Slika 3.1 Elektromotor s enkoderom

Tablica 3.1 Priključci elektromotora i enkodera

ŽICA	PRIKLJUČAK	VELIČINA
roza	napajanje motora	+12V
plava	napajanje motora	GND
crvena	napajanje enkodera	+5V
modra	napajanje enkodera	GND
ljubičasta	kanal	A
žuta	kanal	B

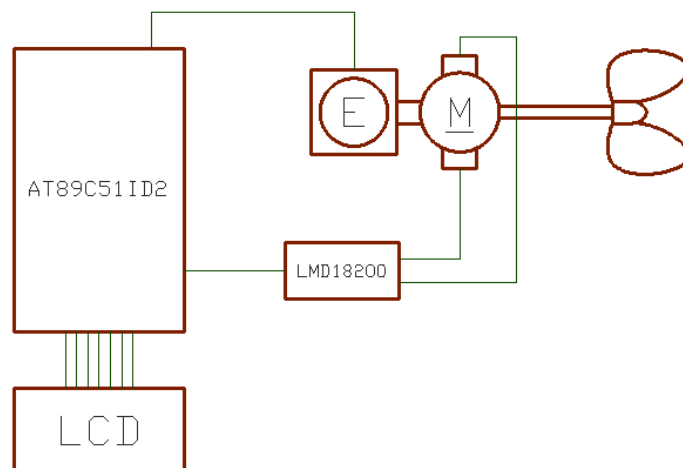
Ovaj rad za regulaciju brzine vrtnje motora ima jedan uvjet, a to je da je moguće podešavanje brzine vrtnje u rasponu od $500^\circ/\text{min}$ do $1500^\circ/\text{min}$, sa skalom od $100^\circ/\text{min}$. Laboratorijskim ispitivanjem karakteristike motora RH7-1531 dobiven je rezultat da na 12V postiže se $37^\circ/\text{sek}$ ($2220^\circ/\text{min}$). Razlog laboratorijskog ispitivanja motora je oskudna dokumentacija za motor i enkoder koju je bilo moguće pronaći. Tako odabrani motor

zadovoljava uvjetovani raspon željenih brzina vrtnje kod ispitivanja kako bi se zadovoljila norma *ASTM D 6482-06*.

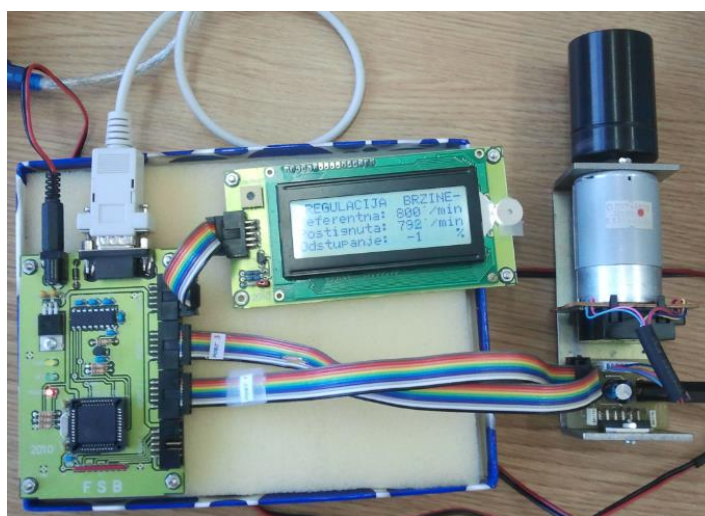
Motor RH7-1531 je moguće ukoliko je potrebno zbog budućih oštećenja ili pregaranja zamjeniti istim sa cijenom na tržištu od četrdeset i četiri dolara (eBay – 44\$).

3.2. Mikrokontroler ATMEL

Mikrokontroler proizvođača „ATMEL“ pod oznakom AT89C51ID2 je odabran za izvedbu regulacije brzine vrtnje prethodno definiranog istosmjernog motora. Odabir ovoga tipa mikrokontrolera te pripadajuće platforme je rezultat upoznavanja s tim sklopovljem tijekom studija. Karakteristike i svojstva mikrokontrolera zadovoljavaju, i više od toga, potrebne parametre koji definiraju ovaj problem regulacije brzine vrtnje istosmjernog motora u svrhu upravljanja procesom hlađenja prema normi *ASTM D 6482-06*.



Slika 3.2 Blokovski prikaz regulacije

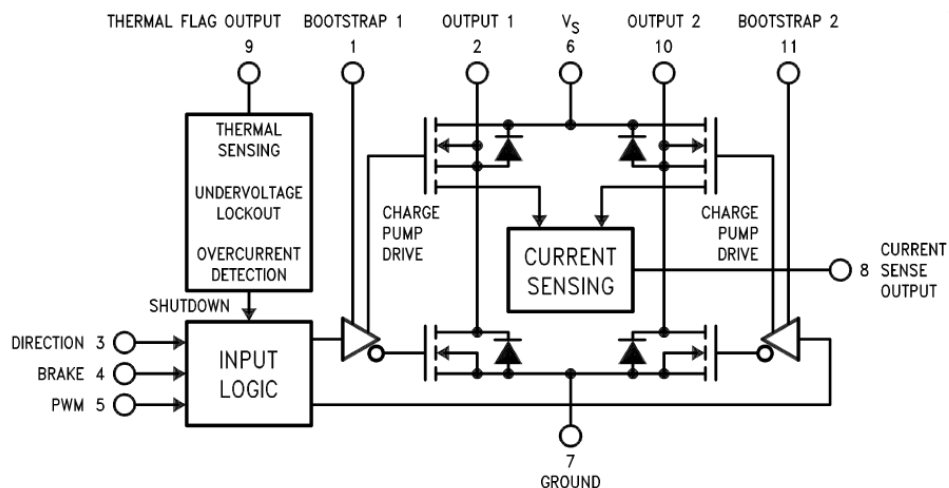


Slika 3.3 Laboratorijski spoj komponenti regulacije

Pisanjem programskog koda u svrhu sprovedbe regulacije brzine vrtnje koristimo, od mogućnosti koje nudi mikrokontroler, prekidni podprogram koji broji broj impulsa sa kanala „A“ enkodera koji ima ulogu povratne veze i vremenski brojač prema opisu funkcije „TIMER2“ u mikrokontroleru kojim se određuje vremenski period regulacije. Više o ova dva segmenta u poglavlju u kojem se opisuje kod za izvedbu regulacije.

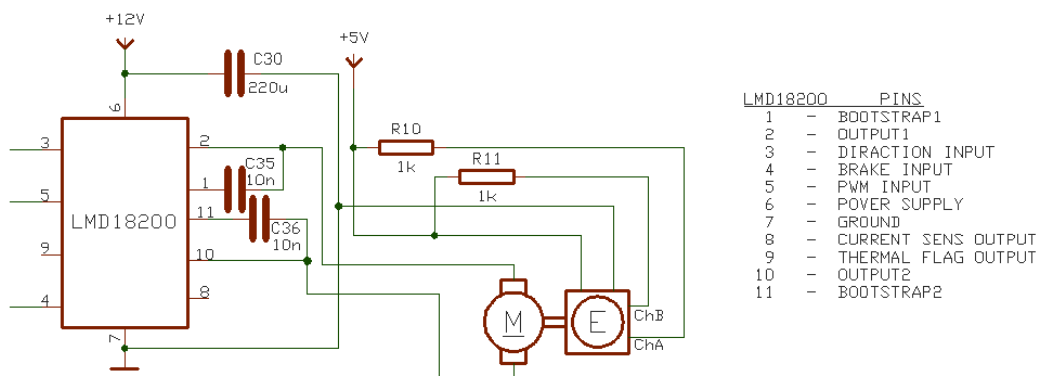
3.3. H-most

H-most je integriran u čip s oznakom LMD18200. LMD18200 radi na 3A, H-most je namijenjen za kontrolu uređaja koji ostvaruju vrtnju. Uređaj je izgrađen postupcima visoke tehnologije koja kombinira bipolarni i CMOS kontrolni krug s DMOS uređajima snage na istoj monolitnoj strukturi. Idealan sklop za upravljanje istosmjernim i koračnim motorima. LMD18200 može podržati vršne izlazne struje do 6A. Inovativno je implementiran integrirani krug što daje osjetno manje gubitke izlazne struje.



Slika 3.4 Funkcijski blok dijagram LMD18200

Za ugradnju H-mosta na odabrani motor potrebno je prema električnoj shemi realizirati sljedeće komponente na tiskanoj pločici. Potrebno predvidjeti konektor za priključak motora i enkodera.



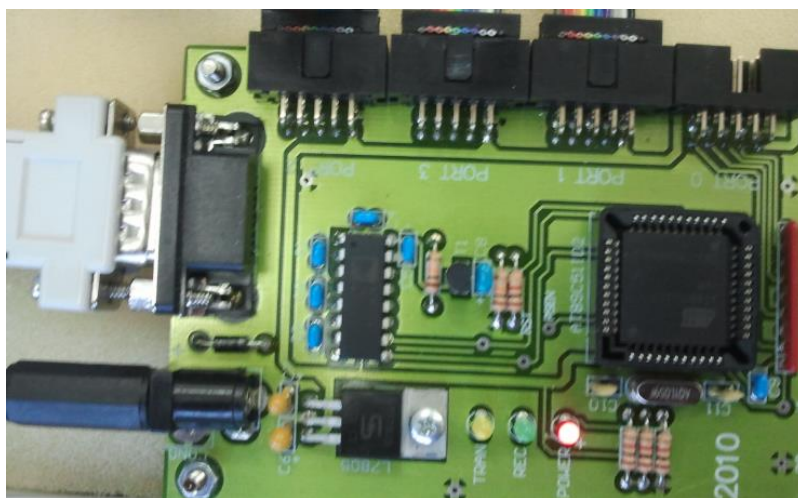
Slika 3.5 Električna shema spoja LMD18200 s motorom i enkoderom

3.4. Komunikacijska veza RS232

Serijska komunikacija je jedan način komunikacije između računala. Serijska veza je proces slanja podataka preko komunikacijskog kanala slijedno bit po bit. Postoji više standarda serijskog prijenosa podataka kao što su: FireWire, I2C, SATA, USB i RS-232.

Za povezivanje mikrokontrolera i računala koristimo RS-232 standard kojim je definirana serijska veza između PC računala. Najčešće se pojavljuje DE-9 priključak koji ima devet pinova. Serijski sklop sadrži UART čip koji je moguće programirati i tako podesiti parametre serijske veze.

Standard podržava prijenos korisničkih podataka sinkrono i asinkrono. Sinkroni se prijenos kontrolira pomoću signala takta. Zbog odvojenosti sklopovlja za slanje i primanje, podržan je *full-duplex* način rada što znači da se u isto vrijeme podaci mogu slati i primati.



Slika 3.6 Priključak serijske komunikacije na pločicu

3.4.1. RS-232 konektor

Postoji više vrsta konektora koji se mogu koristiti za serijski prijenos. U radu serijske veze RS-232 koristimo konektor DE-9 za komunikaciju PC računala i mikrokontrolera.

3.4.2. UART

UART je skraćeno od *Universal asynchronous receiver/transmitter*- univerzalni asinkroni prijemnik/odašiljač. Koristi se zajedno sa RS-232. UART pretvara podatke između paralelnih i serijskih formata. Može se konfigurirati brzina prijenosa i format slanja podataka. Za pravilan rad, UART na strani primatelja i na strani odašiljača mora biti podešen na iste parametre veze.

U programiranju algoritma potrebno je odrediti brzinu serijske komunikacije. To vršimo inicijalno na početku sintakse programa. Pogledati opis algoritma za regulaciju. Naredba za inicijalizaciju serijske veze, u zagradi je definirana brzina komunikacije u bitovima po sekundi (bps):

```
InitUART(br9600);
```

3.5. Zaslون LCD

LCD zaslon prikazuje željenu brzinu vrtnje elektromotora, postignutu brzinu vrtnje, te odstupanje postignute brzine vrtnje od referentne u postotcima. LCD je oznake „GDM2004E2“. Brojka „2004“ opisuje da je sadržaj zaslona raspoređen u dvadeset stupaca i četiri reda odnosno sadržaj zaslona je 20x4 znaka. U prilogu dokumentacije pogledati karakteristike LCD zaslona.

Sljedeća slika prikazuje raspodjelu teksta na zaslonu LCD-a. Naredbe kojima su ispisane poruke na zaslonu pogledati u dijelu u kojem je opisana sintaksa koda za regulaciju.



Slika 3.7 Ispis veličina na LCD zaslon

3.6. Napajanje – FIAMM



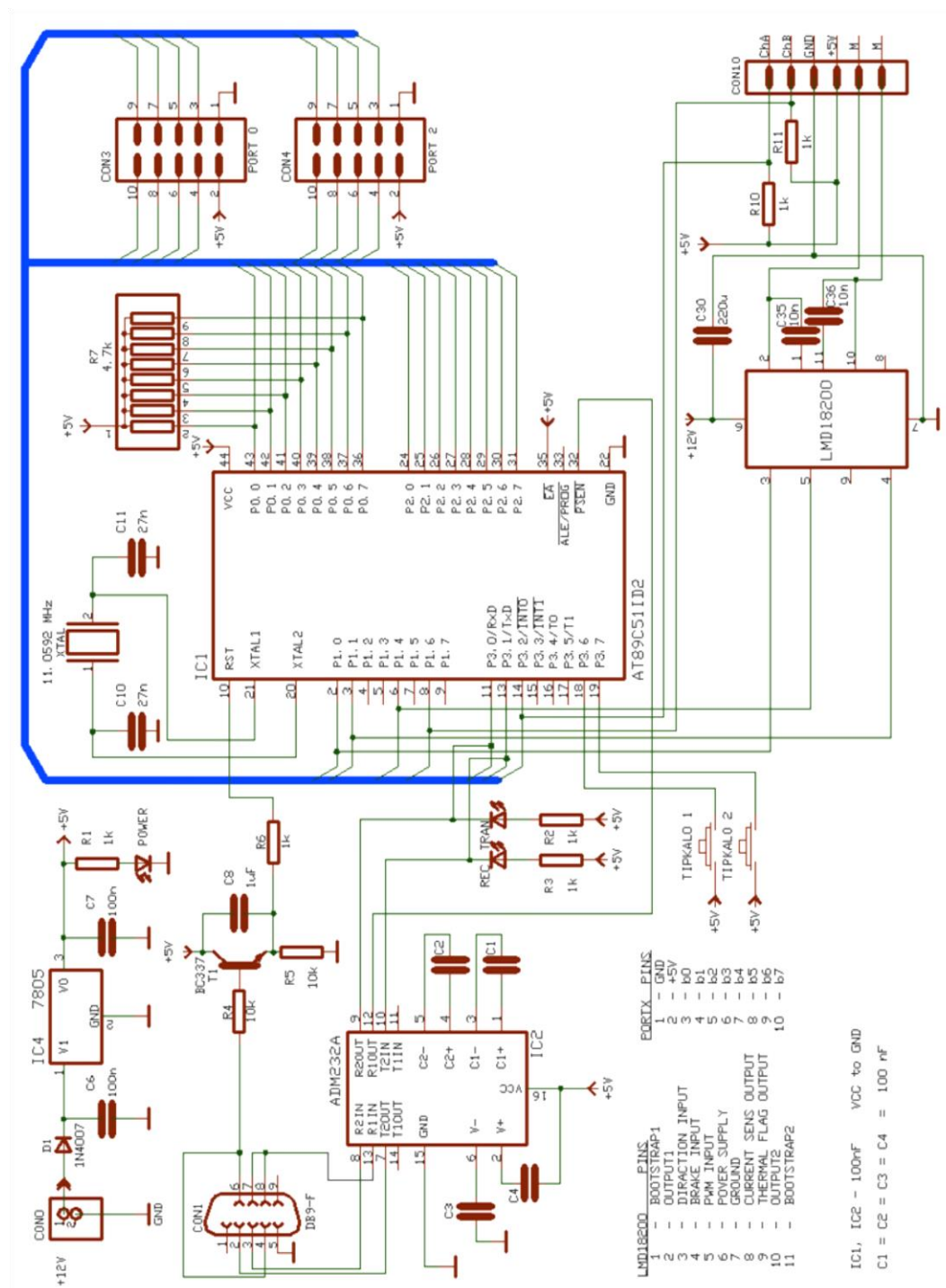
Slika 3.8 Adapter za napajanje

Pretvarač proizvođača *FIAMM* koji se koristio do sada u ovoj ispitnoj stanici iskoristiti ćemo i za našu regulaciju. Pretvarač „*FPC 12V 2A FIAMM*“ sadrži transformator, ispravljač i stabilizator napona. Odabrani adapter zadovoljava tehničkim karakteristikama koje su potrebne za ulaz napajanja komponenti regulacije koji se priključuje na tiskanu pločicu. Na trenutni adapter potrebno je postaviti DC konektor kako bi se napajanje moglo priključiti na pločicu, sada su žice „oguljene“.



Slika 3.9 DC konektor

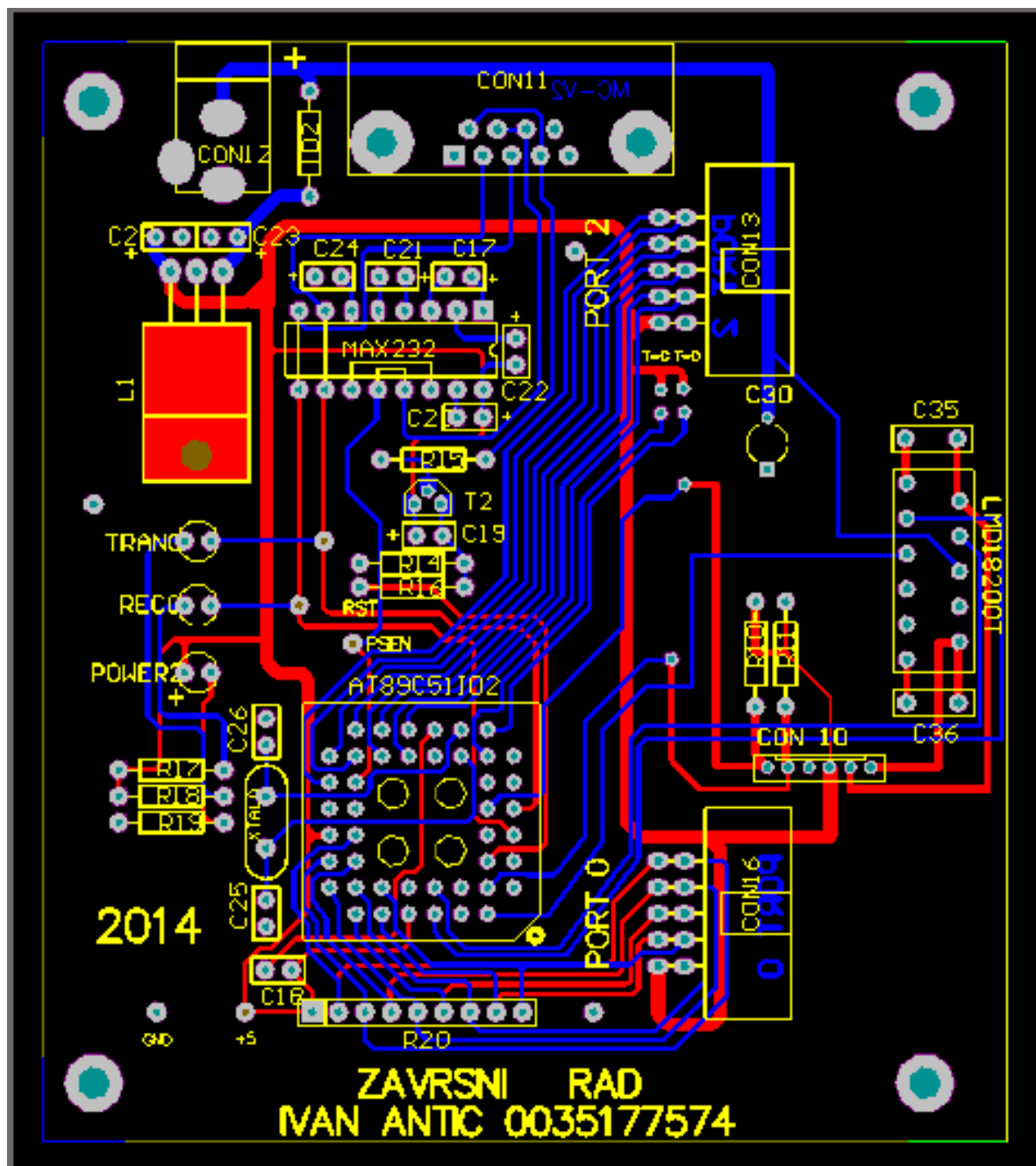
4. ELEKTRIČNA SHEMA



Slika 4.1 Električna shema

Električna shema ne sadrži prikaz elektromotora s enkoderom već njegov konektor označen „CON10“. Imamo dva ulaza PORT0 i PORT2. Na PORT2 priključujemo LCD zaslon. Ulaz PORT0 je ostavljen ukoliko se bude željelo nešto nadograđivati da se može iskoristiti, možda nekakva signalizacija. Električnu shemu je potrebno prenijeti na tiskanu pločicu. Pločica je projektirana u programu Altium Designer-u.

4.1. Električna shema na tiskanoj pločici



Slika 4.2 Tiskana pločica u Altium Designer-u

Električna shema prenesena na tiskanu pločicu ima opisane vodove plavom i crvenom bojom kako je vidljivo iz priložene slike 4.2. Označeni vodovi se u istoj boji ne smiju preklapati. Linije crvenom bojom otiskuju se, prema pogledu na pločicu, sa njene gornje strane. Linije plavom bojom otiskuju se s druge strane pločice. Tiskane linije u boji svojom bojom ne definiraju vrst signala ili karakteristiku voda. Svaku liniju prema njenoj namjeni potrebno je očitati iz električne sheme.

4.2. Popis elektroničkih komponenti s cjenikom

Tablica 4.1 Popis komponenti za tiskanu pločicu

<u>Naziv</u>	<u>Oznaka</u>	<u>CHIPOTEKA</u>	<u>Količina</u>	<u>Cijena [kn]</u>
AT89C51D2, PLCC44		eBay	1	57,45
ADM232, DIL16	MAX232	eBay	1	14,52
LM7805, TO-220	L7805	350780502	1	2,71
SOCKET 44 PIN PLCC	AT89C51D2	3370004401	1	4,50
BC337/25, TO-92	T1	430033703	1	0,58
CONN. HEADER LOW PROFILE FAP 10, 90°	CON3 - 4	4000031001	2	1,25
Quarz 11,0592 MHz - niski	XTAL	1810043501	1	3,37
CON. DB9 P Ž. ZA PLOČ. KUTNI	CON1	2630506200	1	5,25
DIODA 1N4007	D1	1590400701	1	0,24
COND. 0,1 μ F tantal, 35 V	C6	3180001001	1	1,36
COND. 0,33 μ F tantal, 35 V	C7	3180003100	1	1,05
COND. CER. 1 μ F 50 V	C8	3120011001	1	3,5
COND. CER. 0,1 μ F 50 V	C1, C2, C3, C4, C5, C9	3120009001	6	0,75
COND. CER. 27 pF	C10, C11	3110021001	2	0,78
10 k Ω , ¼ W	R4, R5	2210001001	2	0,39
1 k Ω , ¼ W	R1, R2, R3, R6	2210049001	4	0,26
SIL9 4.7 k	R7	2230005701	1	1,26
LP LED 2 mA, 3 mm, ZELENi	REC	1980022001	1	0,75
LP LED 2 mA, 3 mm, CRVENi	POWER	1980023001	1	0,72
LP LED 2 mA, 3 mm, ŽUTI	TRAN	1980024001	1	0,92
CAB. MONITOR 2m DB9M-DB9Ž 1:1		7500000013	1	15

ODSTOJNIK M-Ž M3x5 mm	15mm	2630415724	4	1,90
konektor za napajanje za PCB	CON12	U1116 (KRONOS)	1	4
1 kΩ, ¼ W	R10, R11	2210049001	2	0,26
LMD18200, 3A 55V H-bridge	LMD18200T	eBay	1	16
COND. 10 nF poliester, 100 V	C35, C36	3140025602	2	1,45
COND. 220 µF 25 V	C30	3160050001	1	1,05
Hladnjak SMD 19x10mm		2450028001	1	4,40
Tipkalo	T-G, T-D	8061903103	2	8,37
Konektor HEADER NISKI fap 6	CON10		1	3
Izrada pločice	PCBDOC	Altium Designer	1	1000
UKUPNO:			1179,77kn	

5. SINTAKSA PI- REGULATORA U PROGRAMSKOM JEZIKU C-u

Kod za regulaciju brzine vrtnje sadrži komentare i opise pojedinih redaka. U prvom dijelu programa: prijavljujemo biblioteke u kojima su opisane skupine naredbi i protokola koje koristimo u sintaksi programa, zatim definiramo konstante, te prijavljujemo veličine koje ćemo koristiti.

```

/*
-----
    Program:    REG_BRZ_MOTORA_REGULATOR.c
    Purpose:    Završni rad
    Revision Date: 13.2.2014.
    Author:     Ivan Antic
    Input:      Mentor: prof.Mladen Crnekovic
    Output:     Mentor: prof.Mladen Crnekovic
    Note:       Mentor: prof.Mladen Crnekovic
-----
*/

#include "C:\Keil\REG51ID2.h"    //biblioteka za rad sa mikrokontrolerom AT89C51ID2
#include "C:\Keil\ID2.h"        //biblioteke za rad sa funkcijskim naredbama
#include "stdio.h"              //biblioteke za rad sa upis/ispis naredbama
#include "math.h"               //biblioteke za izvršavanje matematičkih operacija

#define MAX_PWM 255    // definirana maksimalna vrijednosti izlaza PWM-a
#define dt 50000       // definirana vremenski interval regulacije pogreške

// prijava varijabli koje se koriste u programiranju regulatora
data signed int w, y, e, ChA, x, i;
data signed int x_isp, e_isp;
data unsigned char Key;

sbit BRAKE=P1^1;    // upravljacki pin za kocnicu motora
sbit PLUS = P3^7;   // tipka za povecanje referentne brzine P3.7
sbit MINUS = P3^6;  // tipka za smanjenje referentne brzine P3.6

```

U nastavku koda imamo zapis dvaju brojača. Prvi brojač naziva `External0()` očitava broj impulsa s enkodera u periodu od 50 ms, potom biva postavljen na nulu. Brojač `External0()` ima svojstvo da se podprogramski odvija neovisno o aktivnostima ostalog dijela programa. Drugi brojač je vremenski brojač `TIMER2()` unutar kojega je upisan PI-regulator.

```

//-----
External0() interrupt 0    // broj impulse s enkodera u 50 ms
{
    ChA++;
}

```

Integralno djelovanje je potrebno ograničiti kako ne bih došlo do osciliranja mjerene veličine. Integralno djelovanje ima tendenciju rasta kada je pogreška regulacije konstantna po iznosu. U slučaju mehaničke blokade rotora ili zapinanja propelera za nešto, integralno bi djelovanje kontinuirano raslo. Potom bi došlo do skokovitih promjena u regulaciji kada više nije moguće izregulirati sustav koji je prešao granicu stabilnosti te sa sigurnošću ne možemo tvrditi da će regulator u određenom vremenu postići željenu veličinu.

```
//-----
TIMER2() interrupt 5    // brojac vrsi regulaciju u intervalu od 50 ms
{
    x = ChA;             // uzimanje vrijednosti sa enkodera
    ChA = 0;             // postavljanja na nulu brojaca impulsa enkodera
    e = w/6 - x;         // racunanje regulacijske pogreske
    if (e < 0) i--;       // integralno djelovanje
    if (e > 0) i++;
    if (i > 255) i = 255; // ogranicavanje integralnog djelovanja regulatora
    if (i < -255) i = -255;
    y = 1*e + 1*i;       // nova izregulirana velicina izlaza iz regulatora
    if (y < 0) y = 0;     // ogranicavanje PWM izlaza
    if (y > 255) y = MAX_PWM;
    SetPWM(1, 255-y);    // postavljanje regulirane velicine na PWM
    TF2=0;
}
//-----
```

Sljedeći dio programa sadrži glavni program, prethodno su bila opisana dva podprograma. U nastavku programa naredbe `MoveCursor()` i `WriteString()` služe za ispisivanje poruka na LCD zaslon. Naredba `MoveCursor()` postavlja kursor u određeno polje od kuda će se početi ispisivati dio teksta koji je iza te naredbe zapisan u naredbi `WriteString()`.

```
main ()                // glavni program
{
    InitUART(br9600);   // inicijalizacija komunikacijske veze
    InitLCD();          // inicijalizacija LCD zaslona

    MoveCursor(1,1);    WriteString("-");
    MoveCursor(1,2);    WriteString("REGULACIJA");
    MoveCursor(1,14);   WriteString("BRZINE");
    MoveCursor(1,20);   WriteString("-");
    MoveCursor(2,1);     WriteString("Referentna:");
    MoveCursor(2,16);   WriteString("°/min");
    MoveCursor(3,1);     WriteString("Postignuta:");
    MoveCursor(3,16);   WriteString("°/min");
    MoveCursor(4,1);     WriteString("Odstupanje:");
    MoveCursor(4,18);   WriteString("%");
}
```

```
BRAKE = 0; // odkocivanje motora
SetPWM(1,255); // motor isključen (invertiran izlaz)
RunPWM(1); // motor pokrenut za podeseni PWM
EnableEXInt(0); // omogući izvršavanje podprograma
SetTimer(2,65535-dt); // brojac postavljen da odbrojava 50 ms
StartTimer(2); // pokretanje brojca vremena od 50 ms

w = 500; // početna referentna velicina
loop:

    if (PLUS == 0)
    {
        w = w + 100;
        if (w >= 1500) w = 1500;
    };

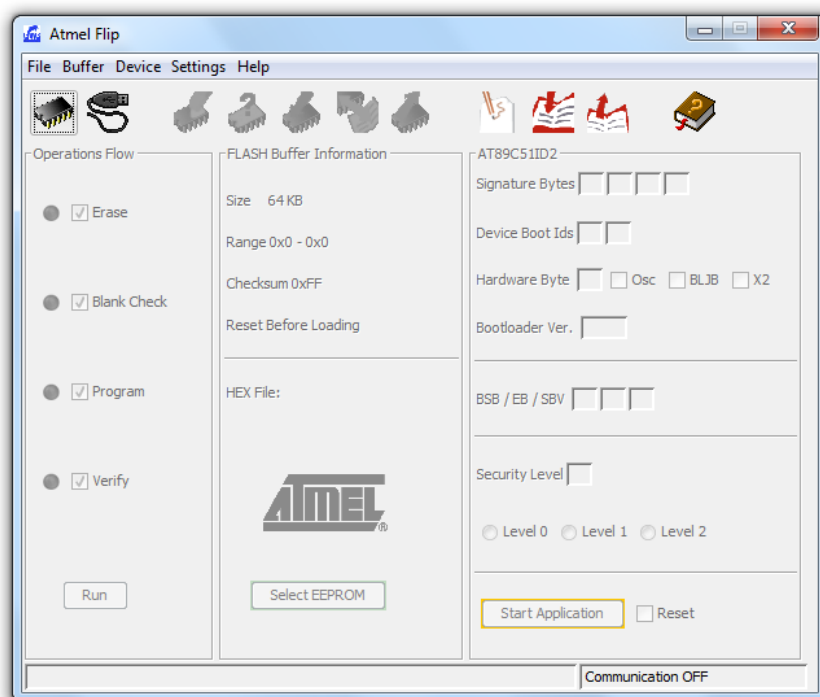
    if (MINUS == 0)
    {
        w = w - 100;
        if (w <= 500) w = 500;
    };

    x_isp = x * 6; // mjereni okretaji u minutama
    e_isp = -(w/6 - x)*100/(w/6); // pogreska u postotcima

    MoveCursor(2,12); WriteInt(w,4);
    MoveCursor(3,12); WriteInt(x_isp,4);
    MoveCursor(4,12); WriteSInt(e_isp,4);
    HideCursor();
    Wait(3);

    goto loop;
}
```

Kod se kompajlira u *Keil* programu, verziji μ Vision3. Pomoću programa *FLIP* se kod u .hex formatu preko serijske veze prenosi na mikrokontroler.



Slika 5.1 Prozor FLIP komunikacijskog programa

Potrebno je odraditi sljedeće korake za pokretanje programa u svrhu regulacije brzine na mikrokontroleru:



- na ikonu odabiremo tip mikrokontrolera, AT89C51ID2



- potom odabiremo .hex datoteku koju želimo prenijeti na mikrokontroler



- klikom definiramo ulaz preko kojega želimo prenijeti program

Potrebno je klikom na „Run“ pokrenuti prenošenje podataka te potom pokrenuti program na mikrokontroleru klikom na „Start Application“.

6. ZAKLJUČAK

Priloženim rješenjem u potpunosti su zadovoljeni uvjeti koji su stavljeni pred nas na početku zadatka. Ova regulacija se vrši na maloj struji i snazi u svrhu miješanja kapljevine. Ukoliko bi se želio ovakav pristup primijeniti u sustavima većih snaga treba obratiti pažnju i povesti računa o svim svojstvima sustava koji rezultiraju složenijom dinamikom u procesu reguliracije. Prilikom razrade rješenja ovoga problema zanemareni su neki utjecaji; trenje između ležaja i vratila motora, motor je namijenjen za vodoravan rad dok je u postupku gašenja postavljen vertikalno – što dodatno opterećuje ležajeve samog motora te smanjuje vijek trajanja motora. U slučaju dugotrajnijeg otpora na vrtilu motora postoji opasnost od povlačenja veće struje sa izvora, što može uzrokovati pregaranje motora ili nekog drugog dijela regulacijskog kruga.

LITERATURA

- [1] Goran Kukmanović: **DIPLOMSKI RAD** - ZAGREB, 2012
- [2] www.wikipedia.com
- [3] www.wikipedia.hr
- [4] www.atmel.com
- [5] www.keil.com
- [6] www.ti.com

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija